

QUELLE POLARISIRTER IONEN UND NACHWEIS
DER POLARISATION VON DEUTERONEN

HEINRICH HANS PETER JOCHIM
AUS BAMBERG

QUELLE POLARISierter IONEN UND NACHWEIS

DER POLARISATION VON DEUTERONEN

INAUGURALDISSERTATION

DER NATURWISSENSCHAFTLICHEN FAKULTÄT DER
FRIEDRICH-ALEXANDER-UNIVERSITÄT ERLANGEN-NÜRNBERG

ZUR
ERLANGUNG DES DOKTORGRADES

VORGELEGT VON

HEINRICH HANS PETER JOCHIM
AUS BAMBERG



Als Dissertation genehmigt von der Naturwissenschaftlichen
Fakultät der Universität Erlangen - Nürnberg

Tag der mündlichen Prüfung: 16.5.1962

Dekan: Universitätsprofessor Dr.H.V o l z

1.Berichterstatter:Universitätsprofessor Dr.R.Fleischmann

2.Berichterstatter:Universitätsprofessor Dr.E.Mollwo

Inhaltsverzeichnis:

Seite

Zusammenfassung	1
I Einleitung	2
a. Methode zur Polarisierung von Protonen und Deuteronen	2
b. Methode zum Nachweis der Polarisierung der Deuteronen	4
II Die Versuchsanordnung	6
1. Allgemeines	6
2. Die Atomstrahlapparatur	6
a. Dissoziation des Wasserstoffs und Atomstrahlquelle	6
b. Abtrennung der Komponente $m_j = -1/2$	8
c. Ionisierung der Komponente $m_j = +1/2$	8
d. Das Vakuumsystem	10
3. Der Nachweisteil	12
a. Die Ionenoptik	12
b. der Neutronennachweis	12
III Ergebnis und Diskussion	13
Anhang	

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Zusammenfassung:

In einer elektodenlosen HF-Ringentladung wird Deuterium dissoziiert und kann als D-Atomstrahl ein System von vier Hochvakuumräumen durchlaufen.

Ein magnetisches Vierpolfeld entfernt die Atome des Hyperfeinstrukturzustandes $m_j = -1/2$ aus dem Strahl.

Die Atome des Zustandes $m_j = 1/2$ werden in eine Elektronenstoß-Ionenquelle fokussiert und in einem Magnetfeld von ca. 20 Oe und bei einem Restgasdruck von ca. 10^{-8} Torr ionisiert.

Zur Erreichung eines derart niedrigen Druckes in einer metallischen Atomstrahlapparatur sind besondere Maßnahmen erforderlich.

Deuteronen aus dieser Quelle werden mit 110 kV beschleunigt und treffen auf ein Tritium-Titan-Target und lösen die $t(d,n)He^4$ -Kernreaktion aus.

Aus dem Verhältnis der Neutronenzählraten unter 0° und 90° zur Flug- und Quantisierungsrichtung der Deuteronen wird der Polarisationsparameter $G = \frac{N_0}{N_1 + N_{-1}}$ zu $0,74 \pm 0,03$ bestimmt.

Durch willkürliches Dejustieren der Elektronenstoß-Ionenquelle kann auch ein Teilstrahl der abgelenkten Komponente $m_j = -1/2$ ionisiert werden. Dann ergibt sich aus den Neutronenzählraten ein Polarisationsparameter $G = 0,312$.

Aus der Ionenquelle treten etwa $0,5 \cdot 10^{-7}$ A Deuteronen aus.

I Einleitung

a. Methode zur Polarisation von Protonen und Deuteronen

Von G.Clausnitzer, R.Fleischmann und H.Schopper wurde 1956 vorgeschlagen¹⁾ eine Hyperfeinstrukturkomponente aus einem H-Atomstrahl in einem inhomogenen Magnetfeld abzutrennen, durch Elektronenstoß zu ionisieren und die so entstehenden polarisierten Protonen in Beschleunigern zu Kernstreu- und Reaktionsexperimenten zu verwenden. In orientierenden Versuchen wurde die prinzipielle Brauchbarkeit von magnetischen Vierpollinsen zur Abtrennung einer Hfs-Komponente praktisch erwiesen. Der leitende Gesichtspunkt war dabei die Verwendung von schwachen Magnetfeldern mit hohem Gradienten, in denen die effektiven magnetischen Momente der Komponenten $F = 1$, $m_F = 1$ (1) und $F = 1$, $m_F = 0$ (2) so verschieden sind, daß praktisch nur (1) abgelenkt wird. Auf diese Weise würde nur ein kleiner Bruchteil von Atomen der Komponente (2) die Polarisation vermindern.

Der ausnutzbare Raumwinkel ist wegen dieser Forderungen allerdings nur klein, sodaß sogar bei einer praktisch kaum erreichbaren Ionisierungsausbeute von 1% nur mit etwa 10^8 polarisierten Protonen pro Sekunde gerechnet werden durfte. Hierbei ergibt sich die Schwierigkeit, daß ein Ionisierer hoher Ausbeute zwangsläufig ein Restgasvolumen mitionisiert, das um ein mehrfaches größer ist, als das von dem sehr engen Atomstrahl eingenommene. Damit werden die Anforderungen an die Freiheit des Restgases von Protonen extrem²⁾. Sie waren mit den damals verwendeten Öldiffusionspumpen geringer Saugleistung und den damals erhältlichen Treibmitteln nicht zu erfüllen.

Betrachtet man demgegenüber die Ausdehnung des Verfahrens auf die Herstellung polarisierter Deuteronen aus D-Atomstrahlen, erkennt man, daß hier einerseits das Vakuumproblem weniger schwerwiegend ist, da man bei ausreichender Saugleistung den D-Gehalt des Restgases klein halten kann. Andererseits wird man aber automatisch auf ein anderes Verfahren der Polarisation geführt, da die Abtrennung einer Hfs-Komponente mit einer analog einfachen Feldanordnung hier nicht in Frage kommt.

Im D-Atom sind nämlich a.) bereits bei wesentlich niedrigeren Feldstärken Kern und Hülle entkoppelt und b.) die magnetischen Momente auch bei schwachen Feldern zu wenig verschieden.

Da man also in diesem Fall die Forderung, daß das Feld schwach sein soll, praktisch fallen lassen muß, ergibt sich die Frage, ob man auch durch Abtrennen der drei Komponenten mit $m_j = 1/2$ (1 - 3 in Abb.1)

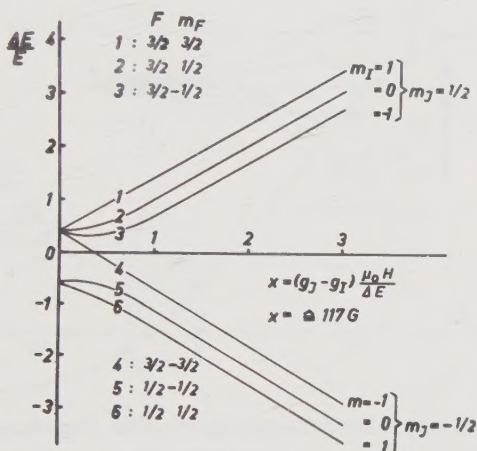


Abb.1 Zeeman-Effekt der Hfs des D-Atoms

von denen mit $m_j = -1/2$ eine resultierende Polarisation erhalten kann. Würde man nämlich die Komponenten 1 - 3 zusammen in einer Ionenquelle ionisieren, die ein starkes Magnetfeld vorsieht (z.B. Duoplasmatron³⁾), ergäbe sich eine völlige Gleichbesetzung der drei Kernzustände $m_I = 1, 0, -1$, d.h. eine verschwindende Polarisation. Nach einer Feststellung von Dickson und Mitarbeitern (vgl.⁴⁾) und Huber und Mitarbeitern⁵⁾ ergibt sich jedoch bei adiabatischer Überführung der Atome in ein schwaches Magnetfeld (< 50 Oe), das nur zur Auszeichnung einer Quantisierungsrichtung dient, ein Verhältnis der

Besetzungszahl $G = \frac{N_0}{N_{+1} + N_{-1}}$ von maximal 0,8 (Abb.2) (bzw. ein Polarisationsgrad von maximal 0,5 im Fall von H-Atomen).

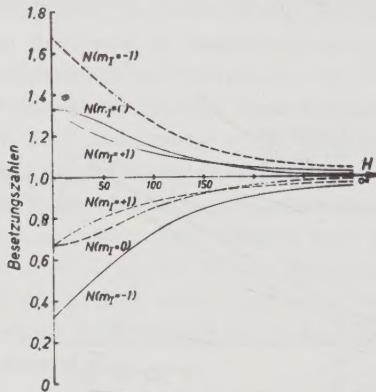


Abb.2 Relative Besetzungszahlen der Zustände $m_I = 1, 0, -1$ als Funktion von H (nach J.E.Sherwood)
 $m_J = 1/2$: ——— $m_J = -1/2$:-----

Unter Verzicht auf vollständige Polarisierung erhält man so eine um mehrere Größenordnungen höhere Intensität, sodaß das Restgasproblem mit den in der Zwischenzeit entwickelten Vakuumpumpen und Methoden gelöst werden kann.

b. Methode zum Nachweis der Polarisierung der Deuteronen

Der Nachweis der teilweisen Polarisierung von Deuteronen erfolgt nach Galonski, Willard und Welton⁶⁾ am besten mit Hilfe der $t(d,n)He^4$ -Reaktion. Diese Reaktion besitzt bei 107 keV eine breite Resonanz, in deren Maximum der totale Wirkungsquerschnitt den sehr hohen Wert von ca. 5 barn annimmt.

Die Winkelverteilung, der bei der Reaktion entstehenden Neutronen nimmt dabei die Form an

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{2}{3}K \left[-3(N_1 + N_{-1} - 2N_0)\cos^2\theta + 5(N_1 + N_{-1}) + 2N_0 \right]$$

für $\frac{\sigma_{0^\circ}}{\sigma_{90^\circ}}$ ergibt sich - bezogen auf die Flug- und Quantisierungsrichtung der Deuteronen - der in Abb.3 dargestellte Verlauf.

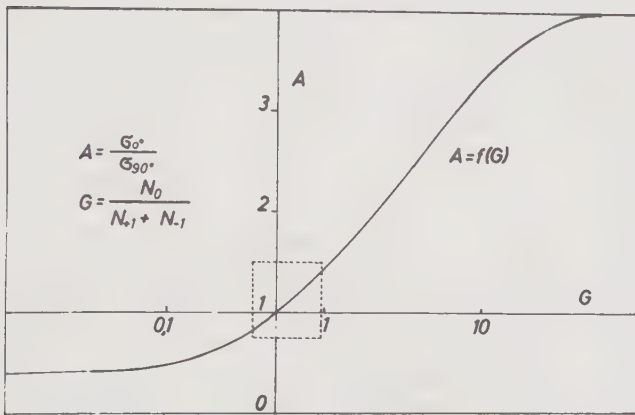


Abb.3 $A = \frac{\sigma_{0^\circ}}{\sigma_{90^\circ}}$ als Funktion von $G = \frac{N_0}{N_1 + N_{-1}}$

II Die Versuchsanordnung

1. Allgemeines

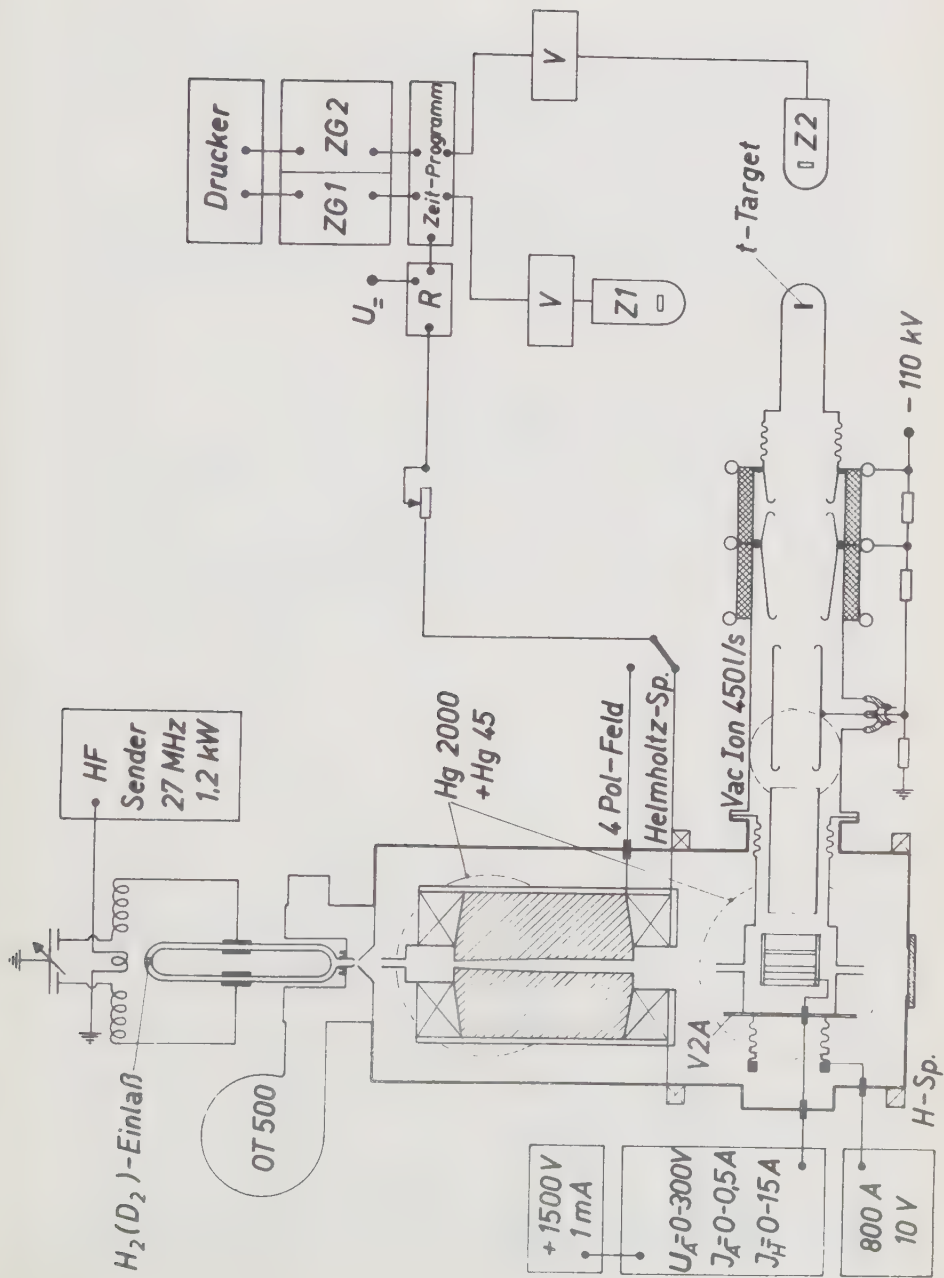
Bei der Konstruktion der Atomstrahlapparatur (Abb.4) war der leitende Gesichtspunkt, genügend Spielraum zur Erprobung verschiedener Typen von Atomstrahlquellen, Ablenkmagneten und anderen Komponenten zu lassen, von deren Optimalisierung die Brauchbarkeit des polarisierten Ionenstrahls abhängt. Ferner sollte die Apparatur betriebssicher und nach kurzer Anlaufzeit betriebsbereit sein. Dieser Punkt betrifft insbesondere das Vakuumsystem. Der Nachweisteil für die Polarisation der Deuteronen ist dabei weniger Selbstzweck, als vielmehr eine bequeme Kontrollmöglichkeit für die Brauchbarkeit einer speziellen Anordnung.

2. Die Atomstrahlapparatur

a. Dissoziation des Wasserstoffs und Atomstrahlquelle

Als Atomstrahlquelle diente für die hier beschriebenen Versuche eine Öffnung von ca. 1,2 mm Durchmesser in einem Ansatz am Gefäß einer elektrodenlosen HF-Ringentladung nach Herzberg⁷⁾ (vgl. Abb.4). Dieser Entladungstyp besitzt gegenüber der früher verwendeten Woodschen Entladung verschiedene Vorteile: Dadurch, daß sich im Entladungsgefäß keine metallischen Teile (Elektroden) befinden, ist eine katalytische Vergiftung der Innenwände durch zerstäubtes Kathodenmaterial nicht möglich. Das Gefäß ist wesentlich kleiner und weniger bruchgefährdet. Da die an das Betriebsgas abgegebene HF-Energie bequem variiert und dem jeweils herrschenden Druck angepaßt werden kann, ergibt sich bei fester Dimensionierung ein größerer Druckbereich in dem die Quelle betrieben werden kann.

Obwohl der Raum von der Atomstrahlöffnung durch eine Öltreibdampfpumpe (OT 500) evakuiert wurde, ergab sich im Betrieb keine Schwierigkeit durch Wandverunreinigungen mit Öldämpfen.



Die Ankopplung der HF-Energie erfolgt durch einen zur Erde völlig symmetrisch aufgebauten Schwingkreis aus zwei Spulen und einen Schmetterlingskondensator.

b. Abtrennung der Komponente $m_j = - 1/2$

Die Ablenk- und Fokussierungseigenschaften des von G.Fritsch⁸⁾ konstruierten und wahlweise mit vier und sechs Polen verwendbaren Ablenkmagneten sind ausführlich in einer weiteren Arbeit⁹⁾ beschrieben.

c. Die Ionisierung der Komponente $m_j = + 1/2$

Bei der Ionisierung der Komponente $m_j = + 1/2$ sind folgende Punkte von Bedeutung: Da die Ionisierung durch Elektronenstoß erfolgt, wird nicht unterschieden zwischen Atomen des Strahls und des Restgases. Es muß also dafür gesorgt werden, daß möglichst wenig Volumen von den Elektronen durchsetzt und vom Extraktionspotential erfaßt wird. Es wurden deshalb (vgl. Abb.5)

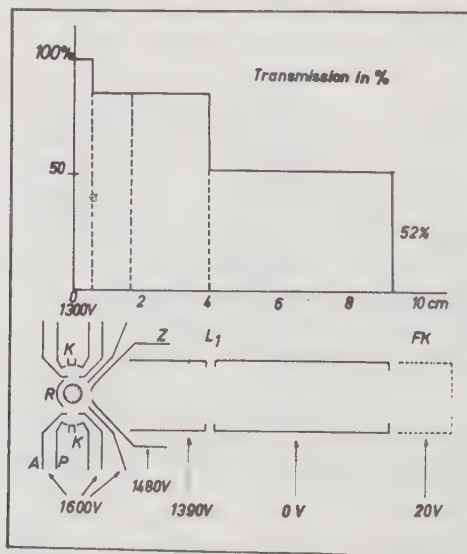


Abb.5 Querschnitt Ionisierer und Transmission der extrahierten Ionen FK = Faradaykäfing zur Messung von I_+ ¹⁰⁾

die beiden Anoden A und die Ziehelektrode Z des Ionisierers hyperbelförmig an den Atomstrahlquerschnitt herangeführt. Im Innern der beiden Anodenschalen A befinden sich die Kathoden K mit Pierce-Elektroden P. Der Ziehelektrode Z gegenüber liegt eine Repellerelektrode R, die immer mit den Anoden potentialgleich ist. Die Konstruktion des Ionisierers ähnelt der von F. Bernhard¹¹⁾ in dem, daß Atomstrahl, Elektronenbündel und Ionenstrahl aufeinander senkrecht stehen, der von G. Fricke¹²⁾ in dem, daß nur zwei Kathoden verwendet werden.

Da die Entstehung von H-Atomen durch thermische Dissoziation von H_2 -Molekülen oder anderen wasserstoffhaltigen Molekülen an den Kathoden verhindert werden muß, wurden diese als Oxydkathoden ausgebildet. Auf eine der Form der Pierce-Elektroden angepaßten konkaven Oberfläche einer Folie aus magnesiumhaltigem K-2-Nickel, wurde eine in der Industrie verwendete Oxydmasse mit Kolloidumschutz*) aufgesprüht. Sie konnten im kalten Zustand belüftet werden, ohne daß die Emissivität dadurch erniedrigt wurde. Allenfalls mußte nach längerem Stehen an Luft die Schicht durch ein- bis zweistündiges Vorheizen, ohne Anodenstrom, neu aktiviert werden. Nach etwa einstündigem Betrieb mit Anodenspannung war dann der frühere Wert immer zu erreichen. Der Gesamtkathodenstrom werde auf 300 mA begrenzt.

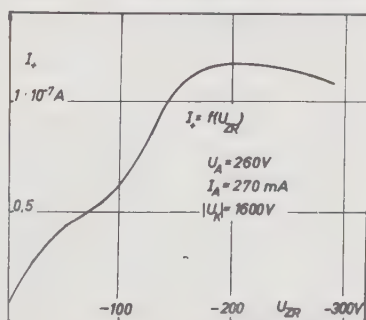
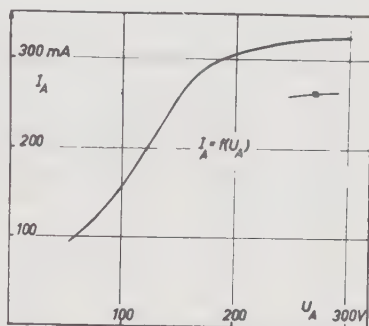


Abb. 6a $J_A - U_A$ -Kennlinie des Ionisierers, b. Ionenstrom $I_+ = f(U_{ZR})$

Die Fläche der beiden Kathodenschichten beträgt 2 cm^2 ($j = 150 \text{ mA/cm}^2$). Die Kennlinie des Anodenstroms zeigt Abb. 6a.

*) verdampft bei ca. $400^\circ C$

Der einzelne Meßpunkt in Abb. 6a entspricht den Betriebsdaten bei der Messung des extrahierten Ionenstroms als Funktion der Extraktionsspannung U_{ZR} zwischen Ziehelektrode und Repeller-elektrode.

Sämtliche Elektroden (außer den Kathoden) sind aus Molybdänblech (0,2 mm) gefertigt und mit angepunkteten Mo-Stiften in Lochplatten (Abstand 100 mm) gehalten. Die ganze Anordnung kann bequem bei 450°C ausgeheizt werden. (Vgl. II 2.d)

Bei gleichmäßiger Ausleuchtung der Eintrittsblende des Ionisierers mit einem H_2 -Molekülstrahl wurde die Ionisierungsausbeute (d.h. Ionisierungs- und Extraktionswahrscheinlichkeit) zu 3% bestimmt¹⁰⁾. In einem Experiment, bei dem die Eintrittsblende auf 3 mm verengt war, wurde mit H-Atomstrahlen eine Ionisierungsausbeute von 0,64% erreicht. Mit der gleichen Blende, die den Atomstrahl etwa zur Hälfte durchläßt, wurde ein Strom von $0,34 \cdot 10^{-7} A$ an polarisierten Teilchen gemessen. Weitere Angaben finden sich in einer Fortsetzungsarbeit von G. Fritsch⁹⁾. Insbesondere wird dort der erreichbare Polarisationsgrad von Protonen auf Grund des im Ionisierungsraum herrschenden Druckes abgeschätzt.

d. Das Vakuumsystem

Auf Grund früherer Erfahrungen²⁾ wurde besonderer Wert auf ein ausreichendes Vakuumsystem gelegt. (Vgl. Abb. 4) An die Apparatur sind angeschlossen:

1. eine Öltreibdampfpumpe OT 500, die den Raum zwischen der Atomstrahlöffnung S_1 und dem Abschäler S_2 evakuiert; zum Absaugen der großen hier anfallenden Gasmengen ist dieser Pumpentyp besonders geeignet, sodaß hier eine Ausnahme von dem Prinzip, nur Hg- oder Ionenpumpen zu verwenden²⁾, gerechtfertigt erscheint,
2. an den Raum zwischen Abschäler S_2 und der Magneteingangsblende S_3 eine Hg-Diffusionspumpe Hg 2000 mit einer Hg 45 als Zwischenpumpe und einer rotierenden Vorpumpe. Im Saugstutzen des Vakuumgefäßes befindet sich eine optisch dichte, mit flüssiger Luft beschickte Kühlfalle, die an drei Degussitstäben aufgehängt ist. Dieselbe Ausrüstung besitzt der 3. Magnetraum.

Hier befindet sich jedoch zwischen der Pumpe Hg 2000 und der Kühlfalle ein mit Frigen kühlabares Baffle. In das Kreuzstück, das letztere Pumpenkombination an den Magnetraum anschließt, ragt

4. seitlich ein dünnwandiges Gefäß (0,25 mm V2A-Stahl), das über ein ausheizbares T-Stück an eine Ionengetterpumpe VacIon 140 l/s (450 l/s für H_2) angeschlossen ist. Das dünnwandige Gefäß kann¹³⁾ an einen Hochstromtransformator (800 A, 10 V) angeschlossen und so ebenfalls bis $450^\circ C$ ausgeheizt werden. Durch die Kanalblenden S_4 und S_5 tritt der Atomstrahl in diesen Raum ein bzw. aus ihm aus und kann bei einem Druck von $1,2 \cdot 10^{-8}$ Torr ionisiert werden. (Nach 9 Stunden Pump- und 1 Stunde Ausheizzeit.) Diese Angaben beziehen sich auf die Anordnung ohne Nachbeschleunigungsteil. Mit angebaute Nachbeschleunigungsteil konnte in vergleichbaren Zeiten ein Druck von einigen 10^{-7} Torr erreicht werden.

Den Druckverlauf in den einzelnen Abschnitten der Apparatur, die durch die Blenden S_1 - S_5 voneinander getrennt sind zeigt Abb.7

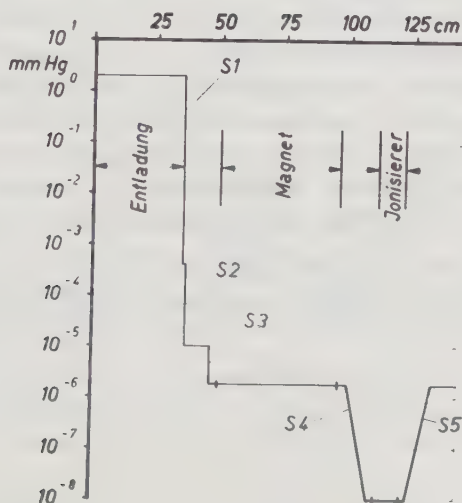


Abb.7 Druck in den einzelnen Abschnitten der Apparatur. S_1 - S_5 Blenden

3. Der Nachweisteil (vgl. Abb.4)

a. Die Ionenoptik: Die aus dem Ionisierungsvolumen austretenden Ionen werden bereits im Ionisierer durch eine erste Linse (vgl. Abb.5) fokussiert. Daran schließen sich vier weitere Beschleunigungslinsen. Die ersten beiden Beschleunigungselektroden nach der Ionisierlinse sind rechteckig, die restlichen rund. Die Hochspannungselektroden sind so geformt, daß die Innenflächen der Porzellanisolatoren dem Strahl nur wenig exponiert sind. Trotzdem gelangen nur etwa 5-10% des aus der Ionenquelle austretenden Strahls auf das Target. Eine Erhöhung des Targetstromes könnte erzielt werden durch systematische Variation der Linsenspannungen. Bei den bisherigen Versuchen waren die Spannungen durch einen festen Spannungsteiler vorgegeben.

b. Der Neutronennachweis

Die bei der $t(d,n)He^4$ -Reaktion entstehenden Neutronen von 14,1 MeV wurden mit zwei sog. Emmerich-Szintillatoren von ca. 3,8 cm Durchmesser und ca. 1,4 cm Dicke auf 11-stufigen Sekundärelektronenverfahren nachgewiesen. Die mit einer Standardneutronenquelle (auch d + t) bestimmte Nachweiswahrscheinlichkeit der Zählordnung war 3,5%.

Die Impulse werden von zwei Kanälen einer 5-Kanalzählanlage registriert und die Impulszahl nach je 1 min ausgedruckt. Gleichzeitig wurde wahlweise die Erregerspule des Vierpolmagneten oder die Helmholtzspule durch ein Relais R (Abb.4) für 1 min. ein und für 1 min. ausgeschaltet zur Bestimmung der Verhältnisse $\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)_m$ und $\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)_o$ der Zählraten des Zählers 2 und des Zählers 1 mit und ohne Polarisation des Ionenstrahls.

III Ergebnis und Diskussion

Dadurch, daß der Ablenkmagnet (II, 2.b) kein Permanentmagnet war (vgl. ⁵), war die Möglichkeit gegeben das Verhältnis der Zählraten $(\frac{Z_2}{Z_1})$ mit und ohne Polarisierung des Strahles zu messen und so die apparative Unsymmetrie durch eine unter praktisch identischen Verhältnissen stattfindende Nullmessung zu eliminieren.

Eine weitere Methode besteht darin, durch Ein- und Ausschalten der Helmholtzspule die Quantisierungsrichtung der Deuteronen im Ionisierer wirksam und unwirksam zu machen. Eine hierbei eventuell auftretende zusätzliche apparative Unsymmetrie, die durch den Einfluß des Helmholtz-Feldes auf die Ausleuchtung des Targets zustandekommt, kann wiederum durch Bestimmung der Zählraten $(\frac{Z_2}{Z_1})$ mit Helmholtzfeld und ohne Helmholtzfeld für den unpolarisierten Strahl geschehen.

In Tabelle I sind die Verhältnisse $\frac{(Z_1+Z_2)_m}{(Z_1+Z_2)_0}$ und $(\frac{Z_2}{Z_1})_m (\frac{Z_1}{Z_2})_0$ d.h. die über beide Zähler gemittelte Zunahme der Zählraten infolge der Fokussierung des Strahls und die von der Polarisierung des Strahles herrührenden Assymetrie in Zeile 2 unter den Werten aufgetragen, die nach den Molybdänoxid-Aufspaltungsbildern zu erwarten sind (Zeile 1).

Tabelle I

Ionisierer	Messung	$\frac{(Z_1+Z_2)_m}{(Z_1+Z_2)_0}$	$(\frac{Z_2}{Z_1})_m \cdot (\frac{Z_1}{Z_2})_0$	$N_{1/2}:N_{-1/2}$	G	$G_{\max}$ ($G_{\min}$) ^{20 00}
justiert	MoO-Bild	1,5	1,21	92:8	0,745	0,78 ¹⁰⁾
($m_j=1/2$)	Neutronen	1,45	1,22	(92:8)	0,74	0,78
dejustiert						
($m_j=-1/2$)	Neutronen	1,2	0,79	3,5:96,4	0,312	(0,294)

Die Spalte $N_{1/2}:N_{-1/2}$ gibt das Verhältnis der Teilchenzahlen, die von der Komponente $m_j = + 1/2$ bzw. $m_j = - 1/2$ in den Ionisierer gelangen. Wird der Assymmetriewert der Neutronenzählraten mit diesem Faktor korrigiert, ergibt sich gute Übereinstimmung mit dem für 20 Oe zu erwartenden maximalen G-Wert für 100%ige Auswahl der Komponente $m_j = + 1/2$. (0,78). In Zeile 3 ist das Ergebnis einer Meßreihe aufgetragen, bei der die Justierung des Ionisiereingangs beim Ausheizen infolge eines Montagefehlers verloren gegangen war. Beim Einschalten des Magneten kommen somit vorwiegend Atome der Komponente $m_j = - 1/2$ in den Ionisierer. Der minimale G-Wert für seine ($m_j = -1/2$) - Anteile ist bei 20 Oe: 0,294. Die Messung ergab 0,312. Die Fehler der Einzelzählraten liegen bei 3-5%.

Bei Verwendung einer Ionisiereingangsblende von 6 mm $\varnothing$ ergibt sich ein Strom polarisierter Deuteronen von ca. $0,6 \cdot 10^{-7}$ A mit einem G-Wert von 0,74. Bei Verwendung einer Blende von 3 mm $\varnothing$ würde sich der Strom auf $0,34 \cdot 10^{-7}$ A vermindern, der G-Wert auf 0,76 erhöhen.

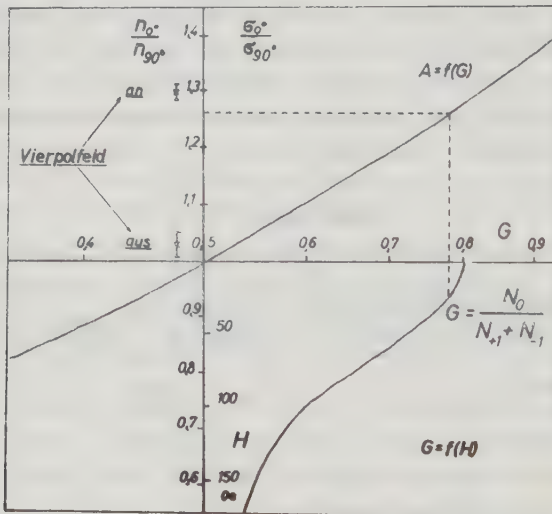


Abb.8 Verlauf der Funktionen $G = f(H)$ und $A = f(G)$
 Letzterer entspricht dem gestrichelten Aus-
 schnitt aus Abb.3

Das Ergebnis einer weiteren Messung ist in Abb.8 eingetragen. Hier wurde das Verhältnis $(\frac{Z_2}{Z_1})$ mit und ohne Helmholtzfeld verglichen für den polarisierten und den unpolarisierten Strahl.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Apparatur im Betrieb robust und schnell einsatzbereit ist. (4-5 h Pumpzeit) eine Reinigung der H-F-Entladungsröhre ist erst nach längerem Betrieb erforderlich und leicht zu bewerkstelligen. Größere Schwierigkeiten ergaben sich lediglich dadurch, daß bei vollem Funktionieren aller Teile (Pumpen, Sender, Hochspannung, Elektronik) der Netzanschluß des Experimentierraumes überlastet war. Nur hierdurch ist die Genauigkeit der bisherigen Ergebnisse begrenzt. Anfängliche Schwierigkeiten mit Wanderwellen bei H-F-Überschlägen, die sich hauptsächlich an den Anschlußleitungen der Pumpenheizplatten auswirkten, konnten durch geeignete Kabelführung beseitigt werden.

Weitere Eigenschaften der Apparatur, insbesondere ihre Verwendbarkeit zur Herstellung polarisierter Protonen, sind in einer Arbeit von G.Fritsch beschrieben ⁹⁾.

Literaturverzeichnis:

- 1) G.Clausnitzer, R.Fleischmann u.H.Schopper:
Z.Phys.144, 336(1956)
G.Clausnitzer: Z.Phys.153, 609 (1959)
- 2) H.P.Jochim: Diplomarbeit Erlangen 1958, unveröffentlicht
- 3) J.Chander: Z.Physik 167, Heft 5, im Druck
- 4) M.K.Craddock: H.P.A.Suppl.VI (1961) S.59
- 5) L.Brown, E.Baumgartner, P.Huber, H.Rudin and
H.R.Striebel: H.P.A.Suppl.VI S.77
- 6) A.Galonsky, H.B.Willard u.T.A.Welton:
Phys.Rev.Letters 2, 349 (1959)
- 7) G.Herzberg: Ann.d.Physik, Bd.84 (1927 S.553)
- 8) G.Fritsch: Diplomarbeit Erlangen 1959 unveröffentlicht
- 9) G.Fritsch: Dissertation Erlangen 1962
- 10) W.Fink: Vortrag Physikertagung Würzburg 1961
- 11) F.Bernhard: Z.angew.Phys. 9, 68 (1957)
- 12) G.Fricke: Z.Phys.141, 166 (1955)
- 13) K.Kwasnitza: Diplomarbeit 1962

Herrn Prof.Dr.R.Fleischmann danke ich herzlich für die Möglichkeit, an der Verwirklichung dieses bedeutsamen Projektes mitzuwirken.

Herrn G.Fritsch möchte ich für den Anteil danken, den er am Aufbau der Apparatur genommen hat und seine Hilfe bei den Messungen. Die Herren Stud.Ref.W.Fink und cand.phys. K.Kwasnitza haben die Ausführung von Teilaufgaben betreut. Ihre Erfahrung auf den Gebieten der Hochfrequenztechnik und der Elektronik haben die Herren Dipl.Phys. J.Trebst und D.Seyboth dankenswerterweise zur Verfügung gestellt. Dem Bundesatomministerium danke ich für die Unterstützung der Arbeit durch Sachmittel.

Die Fa. Stemag, Lauf, hat mit der Sonderanfertigung und kostenlosen Lieferung keramischer Bauteile geholfen. Die Firma Siemens u. Halske A.-G., München, war bei der Anfertigung der Oxydkathoden behilflich.

Anhang

In einer früheren Arbeit des Verfassers (H.P.Jochim, Diplomarbeit Erlangen, 1958) wurde in der abschließenden Bemerkung die Verwendung von sog. "Laval-Düsen", d.h. Atom- oder Molekularstrahlquellen, die mit einem unkonventionell hohen Druck bis 300 Torr (statt 1-2 Torr) arbeiten sollen, wegen der zu hohen Teilchengeschwindigkeit und des zu erwartenden niedrigen Dissoziationsgrades (Betriebsbedingungen der hier benötigten Niedervolt-Bogenentladung) nachdrücklich verworfen. Stattdessen empfahl der Verfasser eine konsequente Anwendung der modernen Vakuumtechnik und Versuche zur Erhöhung der Dichte der Atome mit gleichgerichteten Kernspins um das Restgasproblem zu lösen. Eine bloße Erhöhung des Teilchenflusses, wie sie evtl. bei "Laval-Düsen"-Betrieb zu erwarten war, ist dagegen nicht geeignet.

Diese Feststellungen wurden in den folgenden Jahren in ausgedehnten Versuchen von G.Clausnitzer (Annual Progress Report, University of Minnesota, 1958-60) und W.Klinger (Diplomarbeit Erlangen 1960) bestätigt.

In der Zwischenzeit gelang es indessen R.Keller, L.Dick und M.Fidecaro, CERN (Helv.Phys.Acta Suppl. VI 1961 und Vortrag Basel Symposium vom 4. und 8.Juli 1960) erstmalig polarisierte Protonen herzustellen und die Polarisation (von $50 \pm 10\%$) der Protonen nach Beschleunigung auf 4,4 MeV nachzuweisen. Hierbei kam eine Atomstrahlquelle, die im konventionellen Druckbereich und mit einer Dissoziation von 95% arbeitet, zur Verwendung. Das zur Beschleunigung verwendete Zyklotron war zur Verbesserung der Restgasverhältnisse mit speziellen D's ausgestattet worden, die auf die Temperatur der flüssigen Luft gebracht werden konnten und so als riesige Pump- und Kondensationsfläche für Öl- und Wasserdämpfe im Restgas wirkten.

Der Ausdruck "Laval-Düse" und "Abschäler" findet aber auch Anwendung auf Atomstrahlquellen, die mit konventionell niedrigen Drucken arbeiten; allerdings dürfte hier keine Rede von einer echten Lavalströmung sein wie bei den Molekularstrahlquellen nach Becker und Bier (Z.Naturf. 9 a, 975 (1954)). Allenfalls ist wegen der Richtwirkung der Düsenöffnung und der günstigen Geometrie des "Abschälers" mit einer gewissen Intensitätserhöhung gegenüber einer ebenen Anordnung zweier Lochblenden zu rechnen.

In einer Anordnung mit einer zusätzlichen Pumpstufe (Abb.1)

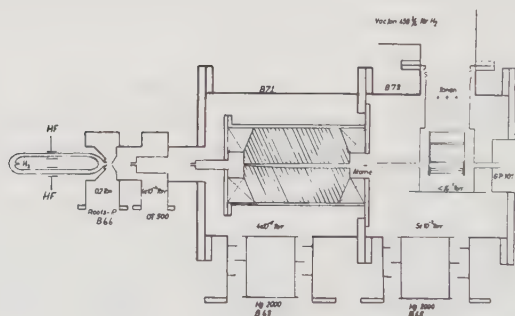


Abb.1 Anordnung mit zusätzlicher Pumpstufe

wurde in einer Reihe von Versuchen mit verschiedenen Loch- und Kanalblenden und verschiedenen "Abschäler"-Durchmessern und Abständen die Molekularstrahlintensität von H_2 -Strahlen in Relativmessungen untersucht. Vgl. Abb.2-6. Dabei ist

d = Abstand Düse-Abschäler

S_1 = Durchmesser Düse

S_2 = Durchmesser Abschäler

l = ungefähre Düsenlänge

p_0 bzw. P Druck in H_2 -Vorratsgefäß.

III

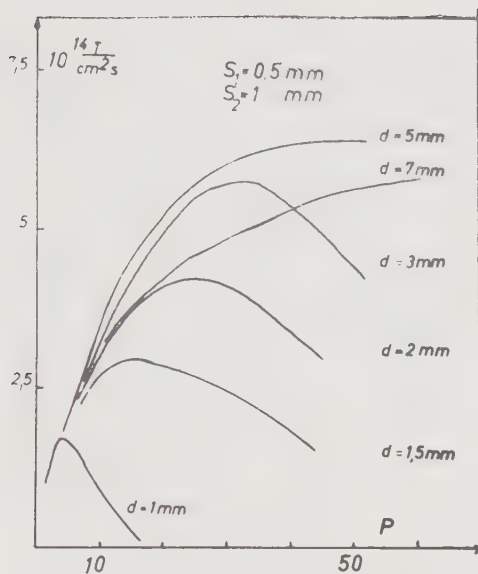


Abb. 2

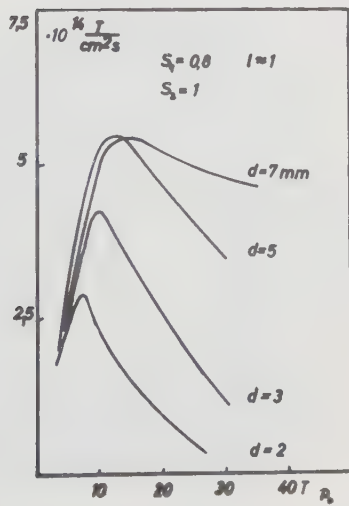


Abb. 3

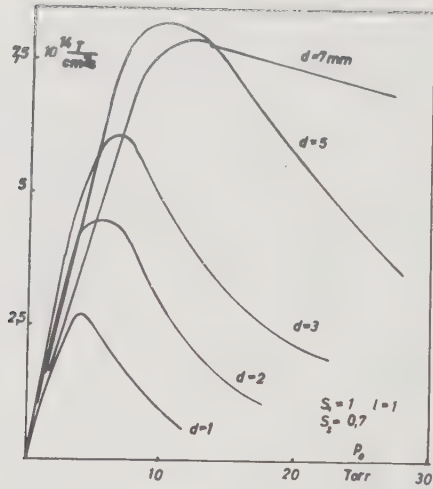


Abb 4

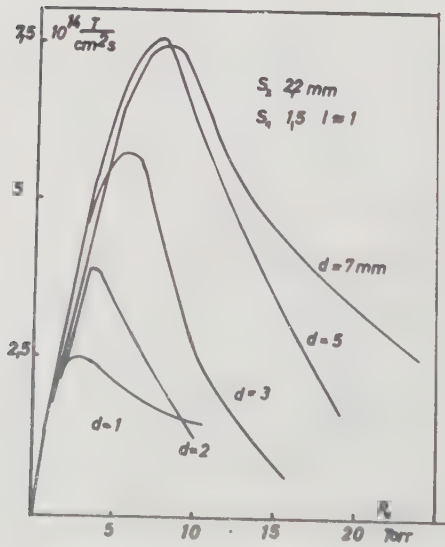


Abb. 5

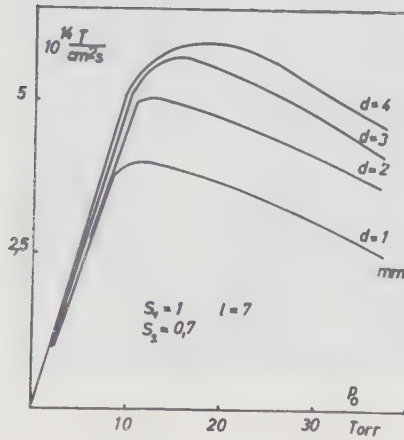


Abb. 6

In der gleichen Anordnung wurden auch Aufspaltungsbilder eines H-Atomstrahles hergestellt (Abb. 7)

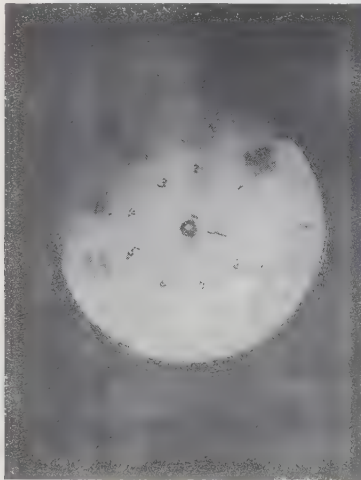


Abb. 7 1: unabgelenkter Strahl
 2: im Vierpolfeld abgelenkter Strahl
 3: im Zweipolfeld abgelenkter Strahl
 4-8: verschiedene Belichtungen (unabgelenkt)



Abb.8 Gesamtapparatur, Blick auf Strahlerzeugungssystem.
Links Nachweisteil, rechts Atomstrahlapparatur.

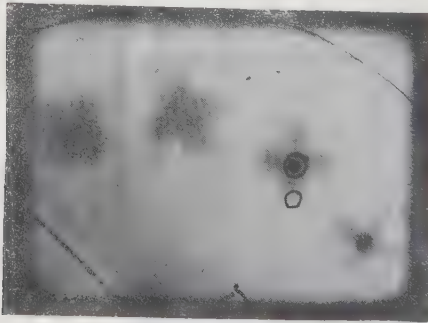


Abb.9 Aufspaltungsbilder im Vierpolfeld bei zunehmender
Magnetstromstärke. Betriebsdauerwert 2,5 A
Die eingezeichneten Kreise deuten die Lage der
Ionisierereingangsblende im justierten und
dejustierten Fall an.

Abschließend kann festgestellt werden, daß alle bisher erfolgreichen Experimente zur Herstellung polarisierter Ionen von Atomstrahlquellen, die im konventionellen Druckbereich arbeiten, Gebrauch machen.

In den Experimenten von Huber und Mitarbeitern und Dickson und Mitarbeitern wird zur Erhöhung der Dichte der Teilchen mit ausgerichteten Kernspins eine Art Vielfach-Atomstrahlquelle mit mehreren Austrittsöffnungen und Fokussierung der Teilstrahlen verwendet. Ein ähnlicher Vorschlag findet sich ebenfalls in der oben angegebenen Arbeit des Verfassers (H.P.Jochim, Diplomarbeit Erlangen, 1958).

L e b e n s l a u f

Ich, Heinrich Hans Peter J o c h i m , wurde am 3.2.1931 in Bamberg als Sohn des Steuerinspektors August Jochim und seiner Ehefrau Senta geb. Dörflein geboren. Meine Kinderjahre verbrachte ich bis 1934 in Forchheim/Obfr., ab da bis zum Ende der zweiten Volksschulklasse in Erlangen. Nach zwei weiteren Jahren bezog ich im Jahre 1941 das Humanistische Gymnasium in Kolmar/Els. Durch die Kriegsereignisse bedingt, kehrte ich im Jahre 1944 nach Erlangen zurück, wo ich ebenfalls das Humanistische Gymnasium besuchen konnte.

Im Jahre 1945 war ich etwa sechs Monate als Volontär in der Werkstatt des Physikalischen Instituts tätig um die schulfreie Zeit zu überbrücken.

Nach meinem Abitur im Juli 1950 begann ich das Studium der Physik, zunächst für zwei Semester als Austauschstudent an der Hamline University, St.Paul, Minn. USA. Ab November 1951 bis Juli 1957 studierte ich Physik an der Universität Erlangen. Nachdem ich am 6.11.1961 die Diplomhauptprüfung abgelegt hatte, wurde ich als wissenschaftliche Hilfskraft am Physikalischen Institut der Universität Erlangen angestellt. Seit 1.12.1961 verwaltete ich die Dienstgeschäfte eines wissenschaftlichen Assistenten im Physikalischen Institut der Universität Erlangen-Nürnberg.

Erlangen, den 30.3.1962

Photodruck von **Photo-Toni** ERLANGEN

Anton Meier & Co.
Erlangen - Hauptstraße 47 - Ruf 3144

